N° D'ORDRE

8.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. E. PAUCHON.

1re THÈSE. — SUR LES TENSIONS DE VAPEUR DES SOLUTIONS SALINES.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues, le 7 ~~janvier~~ février 1880, devant la Commission d'Examen.

MM. VÉZIAN, Doyen, *Président.*

CROULLEBOIS, BARBIER, *Examinateurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1880

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. E. PAUCHON.

5728 PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES AUGUSTINS, 55.

N° D'ORDRE

8.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. E. PAUCHON.

1re THÈSE. — SUR LES TENSIONS DE VAPEUR DES SOLUTIONS SALINES.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues, le janvier 1880, devant la Commission d'Examen.

MM. VÉZIAN, Doyen, *Président.*

CROULLEBOIS, BARBIER, } *Examinateurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1880

FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON.

	MM.	
DOYEN	VÉZIAN.	
PROFESSEURS	ELLIOT	Mathématiques pures.
	SAINT-LOUP	Mathématiques appliquées.
	CROULLEBOIS	Physique.
	BARBIER	Chimie.
	VÉZIAN	Minéralogie et Géologie.
	MOQUIN-TANDON	Zoologie et Botanique.
SECRÉTAIRE	BOUTET.	

A MON EXCELLENT MAITRE

M. MARCEL CROULLEBOIS,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON.

E. PAUCHON.

PREMIÈRE THÈSE.

SUR LES

TENSIONS DE VAPEUR DES SOLUTIONS SALINES.

PREMIÈRE PARTIE.

INTRODUCTION.

I.

L'étude de la tension de vapeur des solutions salines à divers degrés de concentration et à diverses températures paraît avoir préoccupé les physiciens du commencement du siècle, dès que la constitution des sels et leur mode de formation ont été nettement définis.

Le problème expérimental a été abordé par Gay-Lussac dans un but spécial. Cet éminent chimiste a mesuré, le premier, les forces élastiques d'un certain nombre de dissolutions aqueuses de chlorure de sodium et de sels ammoniacaux; mais ses déterminations, suffisantes pour la graduation de l'hygromètre, manquent de la précision nécessaire aux vérifications si délicates des formules de la Thermodynamique.

Regnault vint ensuite et apporta des documents d'une indestructible valeur en construisant ses Tables des forces élastiques de la vapeur d'eau pure à diverses températures.

Il semble qu'il ait concentré toutes les ressources de son habileté

expérimentale sur la détermination des tensions aux basses températures, comme s'il eût déjà pressenti l'importance que ses successeurs attribueraient à cette partie du problème général.

Tandis que ses prédécesseurs n'avaient eu en vue que le côté pratique, Regnault, se dévouant en apparence aux recherches purement spéculatives, accumulait ces précieuses mesures qui constituent encore aujourd'hui le meilleur bilan de la science moderne.

Chose singulière et digne d'être signalée dans l'histoire de la Science, à l'époque même où l'illustre physicien faisait à la théorie naissante de la chaleur une opposition très vive et bien connue des contemporains, il avait la bonne fortune de fournir les seuls éléments de vérification et par conséquent les meilleures bases à cette théorie.

Ainsi, il inscrit dans son programme d'expériences la mesure des tensions de vapeur des solutions salines et détermine les forces élastiques des dissolutions aqueuses d'acide sulfurique.

M. Wüllner a essayé de traiter le problème posé par Regnault.

Il a étudié les forces élastiques de plusieurs solutions à l'aide du procédé de M. Magnus.

Les résultats généraux qui ressortent de son travail sont les suivants :

1° La diminution de force élastique de l'eau qui retient un sel en dissolution est directement proportionnelle à la quantité de sel dissoute.

2° Cette diminution est liée à la tension de la vapeur d'eau pure à la même température par une relation parabolique dont M. Wüllner a, d'après ses expériences, calculé les paramètres pour un certain nombre de sels.

Mais, ainsi réduite à une conclusion empirique, la question ne saurait offrir un grand intérêt.

C'est la Thermodynamique qui lui donne une importance générale.

II.

La dissolution d'un corps solide ou liquide dans l'eau est, en général, accompagnée d'une variation de température.

Ce phénomène, dès longtemps connu, a été étudié avec soin par

M. Person pour les solides et par MM. Bussy et Buignet pour les liquides. M. Person a constaté que la variation thermique qui accompagne la dissolution aqueuse d'un sel est fonction de la quantité d'eau.

Il a été ainsi amené à distinguer deux parties dans l'effet thermique total. La première correspond à la liquéfaction du solide dans la quantité d'eau strictement nécessaire pour le dissoudre : c'est ce que M. Person appelle la *chaleur latente de dissolution*. La seconde est relative à la diffusion du sel en solution saturée dans une masse d'eau déterminée : c'est la *chaleur latente de dilution*. M. Person a en outre vu varier l'effet thermique avec la température, et il a, par des considérations théoriques suffisamment rigoureuses, expliqué ce résultat de ses expériences.

Les recherches de M. Person ne portent malheureusement que sur un nombre très restreint de sels, et encore l'auteur ne les a-t-il étudiés qu'à des degrés peu variés de concentration. Néanmoins les conséquences qu'il en tire relativement aux effets thermiques généraux de la dissolution, et surtout celles qui ont rapport à l'existence pour chaque sel d'une température critique où la dissolution du sel dans un volume d'eau déterminé n'entraîne aucune variation de chaleur, sont parfaitement justes.

Ce que M. Person a fait pour les mélanges de sels et d'eau, MM. Bussy et Buignet l'ont fait pour les mélanges de liquides tels que l'éther, l'alcool, la benzine, le chloroforme, etc. Ils sont arrivés à des conséquences analogues relativement à la dissolution et à la dilution.

III.

Presque à la même époque, MM. Kirchhoff et Thomson, à l'aide d'un raisonnement très savant, ont montré qu'avec des restrictions légitimes l'effet thermique était lié par une relation simple à la tension de la vapeur fournie par la dissolution.

Dans leur Mémoire célèbre sur l'énergie intérieure des corps, ils ont établi une formule qui permet de calculer directement la quantité de chaleur mise en jeu dans l'acte de la dissolution lorsqu'on possède une Table de la tension de la vapeur émise par la dissolution à diverses

températures. Cette relation peut être établie très rapidement à l'aide d'une méthode élégante, dont le principe a été donné par M. Croullebois.

A la température absolue T, diffusons dans une quantité finie de dissolution une quantité infiniment petite d'eau dx.

Le travail extérieur est négligeable et la variation d'énergie interne est représentée par

$$dQ.$$

Revenons maintenant à l'état initial en soumettant la solution ainsi diluée à un cycle de transformations dont le point figuratif chemine sur trois lignes isothermiques.

1° La dissolution émet à la température T une quantité infiniment petite dx de vapeur dont la tension est f; le degré de concentration de la liqueur n'éprouve pas d'altération sensible.

La variation d'énergie totale dU se décompose en deux parties.

La première, qui est la chaleur interne de vaporisation,

$$l\,dx,$$

est donnée par la formule de Clapeyron

$$l\,dx = AT\sigma\,\frac{df}{dT}\,dx,$$

σ désignant la différence entre le volume de la vapeur et celui du liquide sous la tension f et à la température absolue T.

La seconde partie de la variation d'énergie représente la chaleur consommée dans le travail extérieur; elle a pour valeur

$$A f\sigma\,dx.$$

La variation d'énergie sur la première ligne du cycle est donc

$$dU = (l + A f\sigma)\,dx.$$

2° Cette vapeur, dont le poids est dx, séparée du dissolvant, est comprimée à la température T en sorte que f devienne égal à F.

Dans cette seconde phase la variation d'énergie est nulle, car la vapeur d'eau peut être assimilée aux gaz parfaits aux basses températures

où nous nous proposons d'observer les effets thermiques de la dissolution.

3° La limite de saturation atteinte par cette vapeur, on continue la compression jusqu'à ce que le poids dx de vapeur soit ramené à l'état liquide sous la pression constante F et à la température constante T.

La variation d'énergie se compose de deux parties.

La première, qui est la chaleur interne de vaporisation,

$$\mathrm{L}\,dx,$$

est fournie par la formule

$$\mathrm{L}\,dx = \mathrm{AT}\Sigma\frac{d\mathrm{F}}{d\mathrm{T}}\,dx,$$

Σ désignant la différence entre le volume de la vapeur et celui du liquide sous la tension correspondante F.

La seconde partie peut s'appeler chaleur externe de vaporisation; elle a pour expression

$$\mathrm{AF}\Sigma\,dx.$$

La chaleur relative à la troisième phase du cycle est donc

$$d\mathrm{U}' = \mathrm{L} + \mathrm{AF}\Sigma\,dx.$$

On sait que la variation de l'énergie interne ne dépend que de l'état initial et de l'état final.

On a donc

$$d\mathrm{Q} = d\mathrm{U}' - d\mathrm{U},$$

en convenant de prendre positivement les quantités de chaleur consommées et négativement les quantités de chaleur restituées, ce qui reviendrait à

$$d\mathrm{Q} = (\mathrm{L} - l)\,dx + \mathrm{A}(\mathrm{F}\Sigma - f\sigma)\,dx. \tag{1}$$

Dans cette expression, le volume spécifique du liquide est négligeable par rapport au volume spécifique de la vapeur, de sorte que l'on peut prendre au lieu de σ et Σ les volumes respectifs v et V de la vapeur.

L'expression (1) peut donc s'écrire, avec une approximation suffisante,

$$d\mathrm{Q} = (\mathrm{L} - l)\,dx + \mathrm{A}(\mathrm{FV} - fv)\,dx.$$

Mais, si l'on assimile la vapeur d'eau aux gaz parfaits, on a, d'après la loi de Mariotte,

$$FV = fv,$$

et par suite

$$dQ = (L - l)\,dx.$$

Mais, avec les restrictions précédentes, les valeurs de L et l peuvent s'écrire

$$L = ATV\frac{dF}{dT},$$

$$l = AT v\frac{df}{dT},$$

ou bien encore

$$L = ATVF\frac{\frac{dF}{dT}}{F} = ATVF\,\frac{d}{dT}(\log F),$$

$$l = AT vf\,\frac{\frac{df}{dT}}{f} = AT vf\;\frac{d}{dT}(\log f),$$

ou enfin, si nous posons $FV = fv = s$,

$$dQ = ATs\left[\frac{d}{dT}(\log F - \log f)\right]dx = ATs\,\frac{d}{dT}\left(\log\frac{F}{f}\right)dx,$$

log désignant un logarithme népérien.

L'addition d'un poids d'eau $(x - x_0)$ dégagera une quantité de chaleur fournie par l'intégrale.

$$(2) \qquad Q = ATs\int_{x_0}^{x}\frac{d}{dT}\left(\log\frac{F}{f}\right)dx.$$

Lorsqu'on ajoute une quantité finie d'eau $(x - x_0)$, il y a deux cas à distinguer, suivant que f est invariable ou variable avec le degré de concentration.

Le premier cas est celui des dissolutions saturées; le second cas est celui des dissolutions non saturées.

Nous allons séparer les parties de l'intégrale relatives à chacun de ces cas, comme l'a fait M. Moutier, et les mettre sous une forme qui puisse se prêter aisément aux applications numériques.

PREMIER CAS. — *Solutions saturées.*

Supposons que la diminution d de la tension éprouvée par la vapeur émise par la dissolution soit, dans les conditions de l'expérience et pour chaque centième de sel dissous, à la température absolue T,

$$d = a\Phi + b\Phi^2,$$

a et b étant deux constantes fournies par l'expérience, Φ étant la force élastique de la vapeur saturée d'eau pure à la température T, force élastique exprimée en millimètres de mercure.

Supposons en outre que la dissolution est saturée, qu'elle contient un poids x de sel, un poids x_0 d'eau, ou, en composition centésimale, g parties de sel pour 100 parties d'eau.

La tension de vapeur de la solution, φ, exprimée en millimètres de mercure, sera

$$\varphi = \Phi - g(a\Phi + b\Phi^2),$$

égalité qui peut s'écrire

$$\frac{\varphi}{\Phi} = 1 - g(a + b\Phi).$$

Pour obtenir la quantité de chaleur mise en jeu pendant la dissolution, il faut évidemment, dans l'équation générale

$$Q = AT s \int \frac{d}{dT}\left(\log\frac{F}{f}\right) dx.$$

prendre l'intégrale entre les limites 0 et x_0, ce qui nous donnera

$$Q = AT s x_0 \frac{d}{dT}\left(\log\frac{F}{f}\right).$$

Remarquons que le rapport $\frac{F}{f}$ est égal au rapport $\frac{\Phi}{\varphi}$ et que

$$x_0 = \frac{100\,x}{g},$$

et effectuons ces substitutions; il viendra

$$Q = -ATVF \times \frac{100\,x}{g} \frac{d}{dT} \log[1 - g(a + b\Phi)].$$

Si maintenant nous voulons avoir la quantité de chaleur mise en jeu par la dissolution de l'unité de poids de sel dans la quantité d'eau strictement nécessaire pour la dissoudre, il nous suffira de donner à x la valeur 1 et de développer le calcul indiqué, ce qui nous donnera

$$Q_0 = \frac{100\,ATVF}{1 - g(a + b\Phi)}\left[(a + b\Phi)\frac{1}{g}\frac{dg}{dT} + b\frac{d\Phi}{dT}\right],$$

formule qui se simplifie encore en remarquant que

$$L\frac{\Phi}{\frac{d\Phi}{dT}} = ATVF,$$

d'où, en définitive,

$$Q_0 = \frac{100\,L}{1 - g(a + b\Phi)}\,\frac{\Phi}{\frac{d\Phi}{dT}}\left[(a + b\Phi)\frac{1}{g}\frac{dg}{dT} + b\frac{d\Phi}{dT}\right].$$

Second cas. — *Solutions non saturées.*

Reprenons la formule de M. Kirchhoff, et effectuons l'intégration entre les limites x et x_0, $(x - x_0)$ étant le poids d'eau ajouté à la solution saturée contenant 1 partie de sel.

Nous avons

$$Q_1 = ATVF\int_{x_0}^{x}\frac{d}{dT}\left(\log\frac{F}{f}\right)dx.$$

Nous savons que

$$\frac{f}{F} = \frac{\varpi}{\Phi} = 1 - \frac{100}{x_0}(a + b\Phi),$$

puisque le poids du sel dissous est égal à l'unité.

Comme, d'autre part, on a

$$\log\frac{F}{f} = -\log\frac{f}{F},$$

nous pouvons écrire

$$Q_1 = -ATVF\int_{x_0}^{x}\frac{d}{dT}\log\left[1 - \frac{100}{x}(a + b\Phi)\right]dx,$$

ou, en effectuant la différentiation indiquée,

$$Q_1 = -100\,ATVF\,b\,\frac{d\Phi}{dT}\int_{x_0}^{x}\frac{dx}{x-100(a+b\Phi)}.$$

Intégrons maintenant

$$Q_1 = -100\,ATVF\,b\,\frac{d\Phi}{dT}\log\frac{x-100(a+b\Phi)}{x_0-100(a+b\Phi)}.$$

Cette formule se simplifie encore, car on a

$$L\,\frac{\Phi}{\frac{d\Phi}{dT}} = ATVF,$$

et, en substituant cette valeur de ATVF, il vient en dernier lieu

$$Q_1 = -100\,Lb\Phi\log\frac{x-100(a+b\Phi)}{x_0-100(a+b\Phi)}.$$

C'est du coefficient b que dépendront le signe et en grande partie la valeur absolue de Q_1, $b > 0$ correspondant à une absorption de chaleur pendant la dilution, $b < 0$ à une élévation de température.

IV.

On pourra donc toujours facilement calculer la quantité de chaleur mise en jeu dans une dissolution et une dilution lorsqu'on connaîtra exactement la loi qui relie la tension de vapeur de la dissolution à la tension de vapeur de l'eau pure à la même température.

Mais il résulte directement aussi des restrictions connues qu'on ne saurait faire usage de la formule de M. Kirchhoff qu'aux basses températures.

C'est donc aux basses températures que l'on doit demander la loi qui régit la tension de vapeur des solutions salines.

Les nombres obtenus par M. Wüllner ne se rapportent pas à ces limites de température. Le physicien allemand n'a guère opéré en deçà de 35°. Il n'est donc pas étonnant que M. Kirchhoff, cherchant à véri-

fier sa formule à l'aide des chiffres de M. Wüllner, n'ait trouvé que des résultats fort éloignés de la vérité.

Reprenant le même sujet après M. Wüllner et ayant en vue une vérification rationnelle de la formule réduite de M. Kirchhoff dans des conditions de température où son exactitude n'est pas douteuse, nous avons opéré entre les températures extrêmes 0° et 50° centigrades.

Toutes nos mesures ont été reliées par des équations de la même forme que celles de M. Wüllner, et nous donnons pour chaque série d'expériences les coefficients obtenus.

Les relations paraboliques représentent très exactement nos résultats de 0° à 30° ou 35°; mais, au delà, des désaccords se manifestent et croissent rapidement avec la température.

La diminution de force élastique est, pour les sels que nous avons étudiés, toujours plus faible que la valeur fournie par la formule empirique. Malgré cela, nous avons jugé inutile l'emploi d'une formule plus compliquée, puisque, d'après ce que nous avons vu, les restrictions introduites dans la formule de M. Kirchhoff n'en permettent l'usage qu'à des températures bien inférieures aux limites où la relation parabolique cesse d'offrir avec l'expérience un accord satisfaisant.

DEUXIÈME PARTIE.

I.

Description des appareils. — Expériences.

Pour effectuer les mesures qui répondent aux spéculations théoriques précédentes, j'ai eu recours aux diverses méthodes employées par Regnault dans la détermination des forces élastiques de la vapeur d'eau entre les limites de température 0° et 50°.

Mais l'usage de ces méthodes se trouvait subordonné à deux conditions

dont Regnault n'avait pas eu à se préoccuper. La première exigeait que l'on connût exactement pour chaque essai le titre de la solution employée. La seconde était d'une si grande importance, que, sans les précautions qu'elle réclame, toute détermination eût été frappée d'une inexactitude flagrante : il fallait éviter que la vapeur émise par la dissolution, en se condensant sur les parois des appareils, n'exerçât sur la colonne mercurielle une pression perturbatrice, celle de la vapeur saturée d'eau pure.

Procédons à la description détaillée des dispositions et précautions indispensables dans une bonne détermination.

Une caisse en fer-blanc d'une capacité d'environ 50^{lit}, semblable à celle qu'avait employée Regnault dans ses expériences classiques, est établie sur un support solide. La face antérieure est formée par une glace transparente à faces planes et bien parallèles, pour éviter autant que possible les erreurs de réfraction. Le fond de cette caisse est percé de trois tubulures éloignées entre elles de $0^{m},02$ environ et destinées à recevoir des tubes barométriques verticaux. La tubulure centrale A est dans le plan médian vertical de la cuve; les deux autres A′ et A″ sont symétriquement placées de part et d'autre. En outre, comme précaution tout à fait spéciale, ces tubulures étaient disposées sur une circonférence dont le centre était occupé par l'axe de notre cathétomètre. De cette façon, il était possible d'observer tour à tour les niveaux du mercure dans les trois tubes sans déplacer l'oculaire de la lunette, dont le champ était trop faible.

La tubulure centrale A livre passage au sommet d'un baromètre normal; la tubulure A′ reçoit un baromètre humide contenant la solution, la tubulure A″ est occupée par un baromètre à vapeur d'eau pure, vérifié suivant les indications de Regnault. Ces trois tubes plongent leurs extrémités inférieures dans la même cuvette à mercure installée au-dessous de la caisse.

Entre les tubes barométriques, on a placé deux thermomètres sensibles, à échelle arbitraire, donnant $\frac{1}{40}$ de degré centigrade.

Un agitateur annulaire, dont l'observateur règle lui-même les mouvements au moyen d'une pédale, imprime aux couches liquides un mouvement continuel.

Enfin, sous la cuve, un support mobile porte soit une lampe à alcool,

soit un brûleur de Bunsen, qui contribue à maintenir la température constante, en compensant pendant chaque expérience les pertes dues au refroidissement et à l'évaporation.

Le cathétomètre de Gambey, qui servait à relever les niveaux, donnait le centième de millimètre et reposait sur une borne invariable de marbre.

Telle est la description générale de notre appareil.

II.

Les mesures peuvent être altérées par trois causes différentes :

1° Par la présence d'une petite quantité d'air dans les baromètres;

2° Par les actions capillaires inévitables;

3° Par la déviation due à l'interposition de la glace transparente, dont les faces ne sont jamais douées d'un parallélisme absolu.

Il faut chercher à corriger ces erreurs ou à les supprimer.

Or la première est certainement la plus grave, et la pratique nous a appris qu'il est difficile de préparer des baromètres irréprochables à ce point de vue.

Regnault recommande, pour obtenir un baromètre humide absolument privé d'air, le procédé suivant :

On prépare et on remplit le tube barométrique à la manière ordinaire. On fait bouillir le mercure pour chasser l'air; puis, pendant que l'instrument est encore chaud, on détache l'ampoule ou réservoir dont il est toujours muni. On fait sortir rapidement quelques gouttes de mercure, et on les remplace aussitôt par de l'eau bouillante, préalablement soumise à une ébullition assez prolongée pour expulser du liquide l'air et les gaz retenus en dissolution; puis on applique sur l'ouverture le doigt mouillé et l'on retourne vivement sur le mercure.

Dans mes premiers essais, j'employais ce procédé pour faire parvenir mes solutions dans la chambre barométrique; mais il a fallu bientôt y renoncer.

L'évaporation qui a lieu sur les quelques gouttes de liqueur ainsi introduites concentre la dissolution, et celle-ci doit produire des dépressions plus faibles que celles qui correspondraient à la solution pri-

mitive. En outre, en opérant ainsi, je n'ai jamais réussi à obtenir un baromètre humide absolument privé d'air.

Quant au procédé primitif employé par Gay-Lussac, et qui consiste à introduire directement les liqueurs à l'aide d'une pipette, il ne donne que des résultats inexacts.

Voici le procédé qui m'a réussi pour introduire les solutions.

Je prends un tube en verre AB que j'étrangle en C à $0^m,25$ ou $0^m,30$ de son extrémité ouverte. Je le remplis de mercure avec les précautions ordinaires jusque un peu au-dessus du point d'étranglement; puis, l'instrument étant très chaud, j'enlève l'excès de mercure contenu dans le réservoir CB.

Pour cela, il suffit d'incliner le tube avec précaution (1). Au bout de quelques instants, le mercure, en se contractant, a laissé derrière lui une place suffisante.

On y verse la solution bouillante, qui occupe environ les trois quarts du réservoir. Enfin, au moyen d'une lampe à alcool, on chauffe la solution dans le tube lui-même. Bien que le liquide introduit ait été absolument privé d'air, des bulles gazeuses très petites apparaissent encore sur les parois de verre, et l'ébullition s'établit régulièrement; mais au bout de peu d'instants elle cesse brusquement.

Il faut aussitôt éloigner la lampe, car, si l'on continuait à chauffer, le liquide serait en masse projeté hors du tube, comme dans l'expérience de Donny.

A ce moment, on donne le trait de lime. On verse dans un flacon, aussitôt bouché, quelques grammes de la solution contenue dans le baromètre. On détache le réservoir et l'on retourne vivement sur le mercure.

Cette dernière partie de la manipulation doit être effectuée avec la plus grande célérité.

Le baromètre humide une fois installé, il est indispensable de le vé-

---

(1) Avec un orifice très étroit, le mercure, retenu par capillarité, ne coule pas. Si l'on se servait d'une pipette sèche et chauffée, même en évitant le contact des parois, on laisserait presque toujours une bulle d'air fortement adhérente au voisinage de l'orifice. Au contraire, en faisant écouler lentement l'excès de mercure, on détermine la production d'un ménisque convexe, dont la base s'appuie sur les bords de l'orifice et empêche toute bulle gazeuse de se loger dans l'étranglement.

rifier avant de s'en servir, car, malgré toutes les précautions, ce n'est souvent qu'après plusieurs essais infructueux qu'on obtient un résultat satisfaisant. Le baromètre est abandonné à lui-même pendant quelques heures ; puis on le dégage des coussinets qui le maintiennent et on l'incline brusquement, en ayant soin que la partie inférieure ne vienne pas toucher les parois ou le fond de la cuvette (1). Si quelque trace d'air est restée dans la chambre barométrique au moment où l'on incline le tube, elle ne se redissout pas immédiatement, et l'on voit apparaître comme un très petit bouton.

L'échantillon de la solution prélevé dans le baromètre est dosé avec soin ; mais le titre de cette solution n'aurait-il pas varié par suite d'une évaporation inévitable ou par un mélange imparfait des diversés couches inégalement concentrées?

Pour fixer nos idées sur ce point, nous avons à dessein introduit dans quelques-uns de nos appareils un volume de solution plus considérable qu'il n'était nécessaire.

Quand le baromètre a été démonté après avoir servi aux mesures, nous avons, avec beaucoup de soin, recueilli et dosé la solution. Nous n'avons jamais trouvé de différence sensible entre les résultats de ces dosages effectués sur la solution de réserve et sur la solution d'épreuve.

III.

Dans son mémorable travail sur les forces élastiques de la vapeur d'eau, Regnault a mesuré la différence des niveaux dans un baromètre humide et un baromètre sec, soumis à la même pression.

Il a constaté que de 0° à 60° cette différence reste sensiblement constante et que pour un diamètre de $0^{m},014$ elle correspond à $0^{mm},12$ seulement. Nous avons jugé prudent, vu la petitesse de la correction à effectuer, de ne point nous engager dans des déterminations directes, délicates et toujours incertaines. Négligeant l'influence infiniment petite de la nature du verre, nous avons opéré sur des tubes du même calibre que ceux de

(1) J'ai vérifié que, dans une telle manipulation, on s'exposait à introduire des bulles d'air restées adhérentes aux parois de la cuvette et à perdre le fruit des précautions antérieures.

Regnault, et nous avons adopté pour valeur de la correction dans l'eau pure le nombre du célèbre physicien. Il ne restait donc plus qu'à rechercher si le nombre admis pour l'eau pure s'appliquait encore à une solution saline.

A cet effet, nous avons institué la vérification suivante. Deux tubes A et B, qui avaient servi à nos expériences, ont été soudés aux extrémités *b* et *c* de la fourchette de verre *abc*; puis ces deux tubes ont été fixés sur notre support; leurs extrémités inférieures plongeaient dans le mercure de la même cuvette.

Dans l'un on a fait passer, au moyen d'une pipette, une petite quantité d'eau pure, dans l'autre une solution saline concentrée dont la densité était exactement connue. Puis on a mis le tube *a* en communication avec la machine pneumatique. Le vide poussé aussi loin que possible, on a d'un trait de chalumeau fondu le tube *a*. Il suffisait donc de relever exactement le niveau des ménisques et, après avoir fait les corrections relatives aux colonnes aqueuses dont on connaissait la densité et la température, de comparer les hauteurs du mercure dans chaque branche. Ces hauteurs, relevées peu de temps après la construction de l'appareil, ont été trouvées peu différentes. Nous les rapportons ici, en faisant observer qu'elles ont été déterminées sur des solutions saturées et à la température de 12° environ :

	Différences moyennes.
Sulfate de sodium	0,01
Sulfate de potassium	0,01
Chlorure de sodium	0,015
Chlorure de potassium	0,015
Azotate de potassium	0,015
Azotate de sodium	0,021

D'ailleurs, au bout de peu de temps, ces déterminations sont devenues manifestement fautives.

Une diminution très faible se produisait dans la hauteur de la colonne d'eau pure, tandis que la hauteur de la solution augmentait d'une quantité sensiblement égale.

Et ce n'était point là le fait d'une différence accidentelle de température entre les deux branches de l'appareil.

Les jours suivants, en effet, la différence des hauteurs s'accentuait

plus nettement encore. Une distillation lente et continue s'était établie de l'eau pure vers la solution saline.

Restait enfin à corriger les perturbations occasionnées par l'interposition de la glace et de l'eau.

C'est à Regnault que nous avons emprunté le principe de la méthode.

Les baromètres sont installés verticalement sur leur support. Le tube central porte un repère unique situé à la hauteur moyenne de la pression atmosphérique.

Les deux tubes latéraux sont divisés par des traits fins, distants d'environ $0^{m},02$, dans toute la partie atteinte par les excursions du mercure.

Les distances verticales de chacune de ces divisions au repère unique sont relevées avant et après l'interposition de la glace et de l'eau.

Les différences entre les deux séries de mesures servent de base aux corrections, qui ont d'ailleurs toujours été trouvées très faibles. Les plus fortes ne dépassent pas $0^{mm},1$; souvent même, elles sont absolument négligeables pour des dépressions assez grandes, à cause du signe différent dont elles sont généralement affectées dans les divisions consécutives.

L'appareil ainsi disposé, il ne reste plus qu'à se mettre en garde contre le dépôt de rosée qui se produit assez souvent dans les expériences de ce genre et vient troubler les résultats; mais, en employant les baromètres, cette cause d'erreur est facile à éviter. Il suffit, pour cela, de remplir d'abord incomplètement la caisse d'eau froide; le bain ne doit pas dépasser le niveau de la solution dans les baromètres humides.

On chauffe alors les chambres barométriques à l'aide d'une lampe à alcool, afin de les débarrasser de toute trace de liquide; puis on achève de remplir la caisse en versant continuellement de l'eau chaude sur la partie supérieure des baromètres. Au bout de quelques instants, on met l'agitateur en mouvement et l'on mélange intimement les couches liquides du bain. On peut alors commencer les mesures.

Il n'est pas prudent de les reprendre, après une interruption un peu prolongée, sans mettre à sec la partie supérieure des baromètres et sans recommencer la manipulation que nous venons de décrire.

J'ajouterai, pour terminer, que la pression perturbatrice de l'eau pure s'exerce très souvent lorsqu'on exécute des mesures en faisant

décroître la température du bain. Il est fâcheux que l'on soit ainsi privé d'un précieux moyen de contrôle.

IV.

Nous avons essayé aussi d'adapter à nos recherches la seconde méthode employée par Regnault, celle qui consiste à opérer sur des masses de vapeur plus considérables et à mesurer directement avec une exactitude absolue le degré de vide produit dans les appareils.

Nous avons pris un tube barométrique de même nature et de même calibre que ceux qui nous avaient précédemment servi. Une de ses extrémités a été recourbée et terminée par un ballon de 400^{cc} environ de capacité. Un tube de verre *b*, d'un diamètre faible, s'amorce sur le premier tube. Par l'extrémité ouverte du grand tube, j'introduis plusieurs ampoules de verre mince exactement pleines d'une solution saline entièrement privée d'air. Pour satisfaire à cette dernière condition, voici comment il est bon de procéder.

On remplit à la manière ordinaire les ampoules avec la solution chaude déjà privée d'air, puis on soumet à une nouvelle ébullition la solution dans laquelle plongent les ampoules remplies. Pendant quelque temps on voit des bulles de vapeur prendre naissance dans l'intérieur des ampoules et s'échapper par la pointe effilée; puis les bulles cessent de se former en ce point, et des soubresauts caractéristiques annoncent que la masse est entièrement purgée d'air. Il convient alors de fermer à la lampe les ampoules, encore très chaudes. Ces ampoules, au nombre de quatre ou cinq, sont introduites dans le ballon B. Un pareil nombre est mis à part et sert au titrage de la solution.

Le tube A et le ballon B sont alors balayés pendant plusieurs heures par un courant d'air sec; puis on les fixe dans la caisse à côté du baromètre normal. Afin d'éliminer les dernières traces d'humidité, on fait le vide une quarantaine de fois, en laissant après chaque opération l'appareil se remplir d'air exactement desséché.

Enfin une dernière fois on pousse le vide aussi loin qu'on le peut, et l'on fond à la lampe le tube *b*. On mesure la pression de l'air que la

machine n'a pu enlever, d'abord à 0°, puis à des températures successivement croissantes jusqu'à 50°.

Il arrive souvent, pendant cette seconde partie de l'expérience, que les ampoules éclatent; mais il est facile, dans ce cas, si l'on possède seulement trois ou quatre résultats, de retrouver, à l'aide des formules connues et avec une approximation suffisante, les mesures que l'appareil ne peut plus donner. Il ne reste plus alors qu'à briser toutes les ampoules, en chauffant légèrement le ballon et assez fortement la partie recourbée et le tube, afin d'éviter la distillation qui ne manquerait pas de se produire au moment de la rupture des ampoules.

Quant aux corrections relatives à la capillarité et à l'interposition des milieux réfringents, elles s'effectuent de la même manière que dans les premières expériences que nous avons décrites plus haut.

Cette méthode nous a fourni quelques-uns des Tableaux que nous consignons plus loin. Les résultats ainsi obtenus offrent avec ceux que donnent les baromètres humides une concordance satisfaisante.

Mais ce procédé présente un inconvénient grave : les grandes dimensions du réservoir permettent au dépôt de rosée de se produire avec trop de facilité, et les perturbations qui en résultent à chaque instant rendent les mesures si pénibles, qu'on ne peut guère employer cette méthode que comme moyen de contrôle.

TROISIÈME PARTIE.

I.

La troisième Partie de ce Mémoire comprend, sous forme de Tableaux, les résultats que nous avons obtenus, et que nous avons disposés de la manière suivante :

En tête de chaque Tableau, nous avons inscrit la composition de la solution étudiée et la formule empirique qui relie les mesures.

Dans la première colonne, on trouve la température t exprimée en degrés centigrades.

Dans la deuxième, la tension de la vapeur d'eau pure Φ correspondante, suivant Regnault.

Dans la troisième, la force élastique de la solution, φ.

Dans la quatrième, la différence entre la tension de vapeur de l'eau pure et de la solution, D.

La cinquième comprend cette même différence calculée d'après la formule empirique, D_1.

Enfin la sixième montre la différence ε entre les valeurs observées et celle que donne la formule empirique.

Nous rappelons au lecteur que, dans la formule empirique

$$d = a\Phi + b\Phi^2,$$

d représente, pour chaque solution, le quotient de la diminution totale par le nombre de parties de sel dissoutes dans 100 parties d'eau.

II.

Chlorure de sodium.

Solution contenant 27,07 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}003780\Phi + 0{,}000051\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
7,89	7,96	7,04	0,92	0,90	+ 0,02
8,11	8,07	7,14	0,93		
8,35	8,20	7,29	0,91	0,93	— 0,02
8,75	8,43	7,46	0,97		
9,18	8,69	7,71	0,98		
9,77	9,04	7,97	1,07	1,04	+ 0,03
10,63	9,53	8,44	1,09		
10,99	9,79	8,68	1,11	1,13	— 0,02
11,91	10,39	9,24	1,15		
12,31	10,66	9,35	1,31	1,24	+ 0,07
13,17	11,30	9,98	1,32		
13,65	11,63	10,27	1,36	1,37	— 0,01
14,43	12,24	10,83	1,41	1,45	— 0,04
14,81	12,54	11,08	1,46		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
15,22	12,87	11,29	1,58	1,54	+ 0,04
16,01	13,64	11,94	1,70		
16,83	14,27	12,51	1,76		
17,32	14,71	12,88	1,83	1,80	+ 0,03
17,98	15,35	13,47	1,88		
18,26	15,66	13,65	2,01	1,94	+ 0,07
18,46	15,78	13,79	1,99		
18,67	16,04	14,08	1,96		
18,87	16,21	14,09	2,12	2,02	+ 0,10
19,29	16,65	14,57	2,08		
19,99	17,39	15,21	2,18		
20,45	17,85	15,56	2,29	2,27	+ 0,02
20,88	18,37	15,98	2,39		
21,37	18,91	16,45	2,46		
21,95	19,60	17,05	2,55	2,53	+ 0,02
22,31	20,03	17,43	2,60		
22,67	20,47	17,86	2,61	2,67	— 0,06
23,01	20,89	18,27	2,62	2,75	— 0,13
24,07	22,28	18,27	3,01		
25,12	23,72	20,40	3,32		
25,83	24,73	21,32	3,41	3,38	+ 0,03
26,52	25,76	22,19	3,57		
26,92	26,35	22,68	3,67		
27,32	27,00	23,23	3,77	3,78	— 0,01
28,85	29,52	26,27	3,25		
29,30	30,30	25,95	4,35	4,40	— 0,05
29,87	31,31	26,69	4,62		
30,39	32,27	27,51	4,76		
30,92	33,24	28,31	4,87	4,94	— 0,07
31,45	34,27	29,12	5,15		
31,98	35,11	29,79	5,32		
32,41	36,16	30,65	5,51	5,52	— 0,01
32,85	37,10	31,40	5,70		
33,31	38,06	32,47	5,59		
33,78	39,08	32,93	6,15	6,12	+ 0,03
34,57	40,83	34,21	6,52		
34,99	41,80	35,07	6,73		
35,40	42,74	35,79	6,95	6,90	+ 0,05
35,90	43,91	36,71	7,20		
36,50	45,50	37,93	7,57		
37,01	46,69	38,98	7,71	7,80	— 0,09
38,76	51,30	42,43	8,87		
39,55	53,63	44,14	9,49		
40,15	55,35	45,42	9,93	9,91	+ 0,02

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
40,65	56,85	46,51	10,34		
41,33	57,90	47,37	10,53		
42,01	61,08	49,49	11,29	11,41	— 0,12
43,56	63,03	51,25	11,78		
43,60	66,40	53,55	11,85		
43,61	66,43	53,57	12,86	12,92	— 0,08
44,18	68,44	55,07	13,37		

Chlorure de sodium (suite).

Solution contenant 19,31 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00371\,\Phi + 0{,}000041\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,43	7,70	7,12	0,58	0,60	— 0,02
8,15	8,09	7,47	0,62	0,63	
9,01	8,57	7,88	0,69	0,67	
9,86	9,08	8,88	0,70	0,71	— 0,01
10,17	9,26	8,51	0,75	0,73	
10,98	9,72	8,95	0,77	0,76	
11,53	10,14	9,31	0,83	0,80	+ 0,01
11,78	10,31	9,46	0,85	0,81	
13,01	11,06	10,20	0,86	0,88	
13,85	11,79	10,82	0,97	0,95	+ 0,02
14,32	12,15	11,18	0,97	0,99	
15,19	12,85	11,87	0,99	1,05	
16,02	13,64	12,49	1,15	1,12	+ 0,03
16,87	14,31	13,13	1,18	1,19	
17,33	14,72	13,54	1,18	1,22	
17,99	15,35	14,04	1,31	1,28	+ 0,03
18,03	15,36	14,08	1,28	1,29	
19,05	16,40	15,00	1,40	1,39	
19,52	16,86	15,41	1,45	1,43	+ 0,02
19,96	17,39	15,88	1,51	1,49	
20,45	17,87	16,35	1,52	1,53	
21,12	18,63	17,03	1,60	1,61	— 0,01
22,19	18,71	17,10	1,61		
22,23	19,94	18,24	1,70		
23,11	21,01	19,13	1,88	1,85	+ 0,03
23,99	22,17	20,23	1,94		
24,67	23,08	21,00	2,08		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
25,19	23,82	21,61	2,21	2,16	+ 0,05
25,93	24,88	22,58	2,30		
26,52	25,76	23,41	2,35		
27,18	26,79	24,29	2,50	2,47	+ 0,03
28,03	28,15	25,53	2,62		
28,77	29,44	26,68	2,76		
29,23	30,18	27,30	2,88	2,89	— 0,01
29,98	31,50	28,68	3,02		
30,23	31,95	28,96	3,09		
30,79	33,01	29,78	3,22	3,23	— 0,01
31,28	33,94	30,60	3,34		
31,99	35,33	31,84	3,49		
32,68	36,74	33,11	3,63	3,69	— 0,06
33,11	37,64	33,86	3,78		
34,02	39,60	35,56	4,04		
34,76	41,27	37,02	4,25	4,31	— 0,06
35,31	42,63	38,25	4,38		
36,16	44,60	39,95	4,65		
36,87	46,37	41,55	4,82	5,03	— 0,21
37,42	47,78	42,67	5,11		
37,95	49,16	44,01	5,15		

Chlorure de sodium (suite).

Solution contenant 15,15 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00365\,\Phi + 0{,}0000031\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,52	7,76	7,33	0,43	0,45	— 0,02
7,83	7,92	7,47	0,45		
8,41	8,24	7,76	0,48		
8,97	8,54	8,03	0,51	0,50	+ 0,01
9,51	8,87	8,35	0,52		
9,98	9,08	8,55	0,53		
10,41	9,42	8,87	0,55	0,54	— 0,01
10,85	9,69	9,19	0,50		
11,28	9,96	9,41	0,55		
11,75	10,28	9,65	0,63	0,62	+ 0,01
12,15	10,55	9,91	0,64		
12,18	10,56	9,88	0,68		
13,16	11,27	10,57	0,70	0,66	+ 0,04

t	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
13,17	11,28	10,57	0,71		
14,05	11,94	11,21	0,73		
14,65	12,31	11,55	0,76	0,75	+ 0,01
15,03	12,72	11,94	0,78		
15,83	13,39	12,49	0,90		
16,62	14,08	13,17	0,91	0,89	+ 0,02
17,43	14,82	13,88	0,94		
18,29	15,64	14,59	1,05		
19,47	16,82	15,76	1,06	1,07	— 0,01
20,08	17,48	16,36	1,12		
20,77	18,12	17,01	1,11		
21,19	18,71	16,59	1,12	1,20	— 0,08
21,88	19,52	18,25	1,27		
22,46	20,19	18,87	1,32		
22,96	20,85	19,52	1,33	1,36	— 0,03
23,54	21,57	20,21	1,36		
24,11	22,32	20,73	1,59		
25,73	24,60	22,97	1,63	1,62	+ 0,01
26,37	25,53	23,78	1,75		
27,02	26,53	24,71	1,82		
27,64	27,51	25,66	1,85	1,87	— 0,02
27,99	28,08	26,21	1,87		
28,50	28,93	26,04	1,89		
28,75	29,35	27,23	2,12	2,06	+ 0,06
28,73	29,32	27,28	2,04		
29,17	30,07	28,02	2,05		
29,88	31,40	29,24	2,16	2,19	— 0,03
30,62	32,69	30,45	2,24		
30,64	32,72	30,47	2,25		
31,18	33,76	31,41	2,35	2,39	— 0,04
31,87	35,09	32,65	2,44		
32,32	36,00	33,51	2,49		
32,94	37,28	34,64	2,64	2,69	— 0,05
33,41	38,28	35,59	2,69		
33,91	39,36	36,51	2,85		
34,51	40,70	37,79	2,91	3,04	— 0,13
35,01	41,83	38,88	2,95	3,13	— 0,18

III.

Azotate de soude.

Solution contenant 69,71 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00291\,\Phi + 0{,}000012\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,35	7,65	6,10	1,55	1,57	— 0,02
7,98	8,00	6,37	1,63		
8,49	8,29	6,58	1,71		
8,99	8,56	6,78	1,78	1,77	+ 0,01
9,52	8,88	7,03	1,85		
1,03	9,18	7,25	1,93		
10,51	9,48	7,62	1,86	1,96	— 0,10
11,17	9,91	7,90	2,01		
11,92	10,40	8,14	2,26		
12,51	10,81	8,66	2,15	2,17	— 0,02
13,05	11,09	8,79	2,30		
13,60	11,60	9,17	2,43		
14,10	11,99	9,47	2,52	2,50	+ 0,02
14,76	12,50	9,92	2,58		
15,27	12,92	10,17	2,75		
15,83	13,40	10,55	2,85	2,82	+ 0,03
16,38	13,86	10,88	2,98		
16,94	14,38	11,38	3,00		
17,62	15,00	11,85	3,15	3,18	— 0,03
18,28	15,63	12,26	3,37		
19,11	16,46	12,93	3,53		
20,01	17,40	13,57	3,83	3,72	+ 0,11
20,92	18,40	14,64	3,76		
21,77	19,39	15,22	4,17		
22,63	20,42	16,03	4,39	4,40	— 0,01
23,57	21,61	16,91	4,71		
24,31	22,60	17,65	4,95		
25,07	23,65	18,48	5,17	5,17	0
25,98	24,95	19,44	5,61		
26,76	26,13	20,37	5,76		
27,49	27,28	21,28	6,00	6,02	— 0,02
28,34	28,66	22,31	6,35		
29,17	30,08	23,40	6,68		
30,04	31,67	24,39	7,23	7,13	+ 0,10
31,00	33,40	25,82	7,58		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
	mm	mm	mm	mm	mm
31,85	35,05	27,09	7,96		
32,76	36,91	29,54	7,37	8,47	— 0,10
33,45	38,35	29,58	8,77		
35,01	41,84	31,93	9,91	9,98	— 0,07

Azotate de soude (suite).

Solution contenant 55,02 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00332\,\Phi + 0{,}0000160\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
12,10	10,53	8,54	1,99	2,00	— 0,01
12,79	11,01	9,93	2,08		
13,51	11,54	9,38	2,16		
14,30	12,14	9,73	2,41	2,33	+ 0,08
15,11	12,81	10,27	2,54		
15,92	13,47	10,67	2,80		
16,70	14,15	11,50	2,65	2,75	— 0,10
17,21	14,61	11,86	2,75		
18,11	15,54	12,53	3,01		
18,72	16,06	12,94	3,12	3,13	— 0,01
19,31	16,67	13,38	3,29		
19,83	17,21	13,82	3,39		
20,62	18,07	14,38	3,69	3,67	+ 0,02
21,31	18,87	15,11	3,76		
21,93	19,57	15,86	3,71		
22,38	20,12	15,97	4,15	4,00	+ 0,15
22,77	20,60	16,52	4,08		
23,02	20,91	16,75	4,16		
23,63	21,69	17,35	4,34	4,33	+ 0,01
24,18	22,42	17,92	4,50		
25,31	23,99	19,05	4,84		
25,86	24,78	19,78	5,00	5,02	— 0,02
26,16	25,28	20,22	5,06		
26,31	25,45	20,37	5,08		
26,35	25,51	20,37	5,14	5,18	— 0,04
27,63	27,49	21,89	5,60		
28,43	28,81	22,90	5,91		
29,31	30,32	24,16	6,16	6,27	— 0,11
30,01	31,56	25,11	6,45		
31,52	34,40	27,07	7,33		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
31,99	35,33	27,79	7,54	7,45	+ 0,09
32,41	36,18	28,49	7,69		
32,82	37,03	29,16	7,87		
33,22	37,87	29,79	7,08	8,07	+ 0,01
34,68	41,09	32,15	8,94		
35,19	41,87	32,80	9,07		
38,00	49,30	48,71	10,59	10,96	— 0,37

Azotate de soude (suite).

Solution contenant 31,22 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}003380\,\Phi + 0{,}0000199\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
8,05	8,04	7,18	0,86	0,87	— 0,01
8,31	8,19	7,31	0,88		
8,63	8,36	7,44	0,92		
8,99	8,57	7,62	0,95	0,93	+ 0,02
9,17	8,67	7,70	0,97	0,95	+ 0,02
9,28	8,73	7,79	0,94		
9,73	9,00	8,03	0,97		
10,03	9,18	8,13	1,05	1,01	+ 0,04
10,35	9,38	8,34	1,04		
10,71	9,61	8,51	1,10		
10,88	9,72	8,65	1,07	1,08	— 0,01
11,21	9,93	9,85	1,08		
11,55	10,15	9,02	1,13		
11,78	10,31	9,14	1,17	1,14	+ 0,03
11,97	10,43	9,32	1,11		
12,35	10,70	9,56	1,14		
12,74	10,97	9,72	1,25	1,22	+ 0,03
12,90	11,09	9,86	1,23		
13,27	11,36	10,09	1,27		
13,59	11,55	10,28	1,27	1,29	— 0,02
14,18	12,04	10,73	1,31		
14,45	12,26	10,88	1,38		
14,83	12,56	11,13	1,43	1,41	— 0,02
14,92	12,63	11,08	1,55		
15,21	12,87	11,44	1,43		
15,71	13,29	11,71	1,58	1,54	+ 0,04
16,05	13,67	12,24	1,43		
16,41	13,89	12,31	1,58		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
17,82	14,26	12,61	1,65	1,63	+ 0,02
17,11	14,52	12,82	1,70		
17,42	14,81	13,08	1,73		
17,92	15,28	13,57	1,71	1,77	— 0,05
18,26	15,61	13,81	1,80		
18,75	16,10	14,28	1,82		
19,11	16,45	14,58	1,87	1,89	— 0,02
19,42	16,78	14,87	1,91		
19,85	17,23	15,28	1,95		
19,97	17,36	15,39	1,97	1,99	— 0,02
20,37	17,79	15,77	2,02		
20,69	18,15	16,07	2,08		
20,99	18,48	16,36	2,12	2,14	+ 0,02
21,33	18,75	16,59	2,16		
21,87	19,51	17,22	2,29		
22,08	19,76	17,41	2,35	2,30	+ 0,05
23,17	21,10	18,63	2,47		
23,45	21,46	19,98	2,48		
24,05	22,25	19,67	2,58	2,62	— 0,04
24,85	23,34	20,55	2,79		
25,62	24,43	21,63	2,80		
25,88	24,81	21,64	3,17	2,97	+ 0,20
26,43	25,63	22,55	3,07		
27,13	26,71	23,47	3,24		
27,87	27,85	24,46	3,39	3,38	+ 0,01
28,54	28,99	25,46	3,53		
29,14	30,00	26,31	3,69		
30,68	32,79	28,72	4,07	4,08	— 0,01
31,17	33,72	29,51	4,21		
31,87	35,10	30,70	4,40		
32,65	36,67	32,04	4,63	4,65	— 0,02
33,45	38,36	33,47	4,89		
33,87	39,28	34,27	5,01		
34,38	40,45	35,29	5,16	5,40	— 0,07
34,92	41,64	36,31	5,33		
35,31	42,53	37,12	5,41		

Azotate de soude (suite).

Solution contenant 14,68 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00341\,\Phi + 0{,}0000231\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
	mm	mm	mm	mm	mm
7,81	7,92	7,51	0,41	0,41	»
7,99	8,01	7,58	0,43		
8,15	8,10	7,68	0,42		
8,37	8,22	7,79	0,43	0,42	+ 0,01
8,49	8,28	7,84	0,44		
8,75	8,43	7,99	0,44		
8,77	8,44	8,00	0,44	0,44	»
8,95	8,54	8,09	0,45		
9,14	8,65	8,21	0,44		
9,38	8,76	8,31	0,45	0,47	— 0,02
9,51	8,87	8,39	0,48		
9,69	8,98	8,49	0,49	0,48	+ 0,01
9,89	9,10	8,61	0,49		
10,09	9,16	8,66	0,50		
10,21	9,29	8,79	0,50	0,49	+ 0,01
10,42	9,42	8,91	0,51		
10,60	9,54	9,04	0,50		
10,84	9,69	9,18	0,51	0,51	»
11,12	9,87	9,34	0,53		
11,69	10,24	9,70	0,54		
11,81	10,33	9,75	0,58	0,54	+ 0,04
11,94	10,42	9,89	0,53		
12,24	10,64	10,01	0,60		
12,32	10,68	10,12	0,56	0,57	— 0,01
12,57	10,85	10,28	0,57		
12,97	11,04	10,44	0,60		
13,32	11,40	10,78	0,62	0,62	»
13,56	11,57	10,94	0,63		
13,81	11,76	11,12	0,64		
14,18	12,05	11,42	0,63	0,65	— 0,02
14,45	12,26	11,57	0,69		
14,90	12,62	11,95	0,67		
15,25	12,90	12,28	0,67	0,69	— 0,02
15,35	13,88	13,15	0,73		
16,05	13,67	12,92	0,75		
16,36	13,84	13,11	0,73	0,75	— 0,02
16,68	14,13	13,32	0,81		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
17,00	14,42	13,64	0,78		
17,41	14,80	13,99	0,81	0,84	+ 0,03
18,16	15,51	14,63	0,88		
18,25	15,59	14,71	0,88		
18,40	15,75	14,85	0,90	0,89	+ 0,01
19,01	16,36	15,45	0,91		
19,33	16,68	15,71	0,97		
20,65	18,10	16,84	1,26	1,03	+ 0,23
20,92	18,40	17,37	1,03		
21,67	19,27	18,17	1,10		
22,64	20,44	18,16	1,28	1,23	+ 0,05
23,84	21,97	20,66	1,31		
24,27	22,55	21,17	1,38		
25,01	23,56	21,22	1,34	1,35	— 0,01
26,05	25,05	23,62	1,42		
27,30	26,98	25,46	1,52		
28,27	28,54	26,92	1,62	1,67	— 0,05
29,25	30,39	28,66	1,73		
32,03	35,42	33,31	2,11		
33,01	37,43	35,21	2,21	2,34	— 0,13
34,30	40,23	37,91	2,32		

IV.

Chlorure de potassium.

Solution contenant 24,39 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00382\,\Phi + 0{,}0000109\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,32	7,66	6,98	0,68	0,71	— 0,03
7,72	7,87	7,17	0,70		
8,17	8,11	7,38	0,73		
8,63	8,36	7,58	0,78	0,77	+ 0,01
8,95	8,54	7,73	0,81		
9,40	8,81	7,98	0,83		
9,92	9,12	8,26	0,86	0,85	+ 0,01
10,51	9,48	8,58	0,90		
10,83	9,68	8,78	0,90		
10,87	9,71	8,84	0,87	0,90	— 0,03

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
11,38	10,04	9,13	0,91		
12,10	10,53	9,60	0,93		
12,43	10,75	9,80	0,98	1,00	— 0,05
12,96	11,03	9,91	1,12		
13,31	11,32	10,20	1,12		
13,72	11,70	10,67	1,03	1,09	— 0,06
14,23	12,07	10,98	1,11		
14,88	12,60	11,40	1,20		
15,51	13,12	11,91	1,21	1,23	— 0,02
16,00	13,64	12,39	1,25		
17,21	14,61	13,22	1,39		
17,85	15,21	13,75	1,46	1,44	+ 0,02
18,35	15,70	14,18	1,52		
18,70	16,09	14,55	1,54		
19,10	16,45	14,86	1,59	1,62	— 0,03
19,81	17,19	15,45	1,74		
20,45	17,88	16,09	1,79		
21,17	18,69	16,74	1,95	1,98	— 0,03
22,92	20,79	18,66	2,13		
23,71	21,80	19,59	2,21		
24,31	22,60	20,37	2,23	2,24	— 0,01
24,99	23,54	21,46	2,28		
25,41	24,10	21,48	2,52		
26,19	25,27	22,72	2,55	2,61	— 0,06
27,01	26,52	23,92	2,60		
27,31	26,99	24,40	2,59	2,70	— 0,11
27,92	27,97	25,24	2,73	2,74	— 0,01
28,43	28,81	26,49	2,82		
28,85	29,52	26,64	2,88		
29,30	30,30	27,35	2,95	3,00	— 0,05
30,03	31,60	28,53	3,07		
30,76	32,95	29,74	3,21		
31,85	35,05	31,60	3,45	3,52	— 0,07
32,54	36,45	32,87	3,58		
33,09	37,60	33,91	3,69		
34,11	39,80	35,88	3,92	4,06	— 0,14
34,93	41,65	37,60	4,05		
35,00	41,83	37,77	4,06	4,29	— 0,23

Chlorure de potassium (suite).

Solution contenant 18,27 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00371\,\Phi + 0{,}0000092\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
7,92	7,97	7,42	0,55	0,57	— 0,02
8,76	8,44	7,82	0,62		
9,42	8,81	8,16	0,65		
10,17	9,30	8,61	0,69	0,67	+ 0,02
11,01	9,80	8,90	0,70		
11,85	10,35	9,62	0,73		
12,51	10,81	10,16	0,75	0,78	— 0,03
13,18	11,29	10,44	0,85		
13,89	11,82	10,98	0,84		
14,43	12,24	11,31	0,93	0,89	+ 0,04
15,11	12,79	11,84	0,95		
15,99	13,62	12,66	0,96		
16,29	13,77	12,67	1,10	1,00	+ 0,10
17,43	14,82	13,70	1,12		
17,98	15,33	14,19	1,14		
18,71	16,05	14,89	1,16	1,17	— 0,01
19,35	16,70	15,42	1,28		
20,01	17,40	16,09	1,31		
20,73	18,19	16,87	1,32	1,34	— 0,02
21,16	18,68	17,28	1,40		
21,87	19,51	18,09	1,42		
22,31	20,01	18,51	1,50	1,48	— 0,02
22,97	20,84	19,32	1,52		
23,41	21,41	19,80	1,61		
24,13	22,35	20,67	1,68	1,67	+ 0,01
24,83	23,31	21,59	1,72		
25,32	24,00	22,22	1,78		
25,99	24,97	23,07	1,90	1,87	+ 0,03
26,72	26,07	24,12	1,95		
27,39	27,12	25,09	2,08		
28,02	28,13	26,01	2,12	2,13	— 0,01
28,85	29,52	27,32	2,20		
29,45	30,55	28,27	2,28		
29,65	30,91	28,61	2,30	2,25	+ 0,05
29,75	31,08	28,68	2,41		
30,37	32,21	29,74	2,47		
31,02	33,44	30,84	2,57	2,58	— 0,01

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
31,83	34,90	31,26	2,64		
32,51	36,39	33,63	2,76		
33,28	38,00	35,12	2,88	2,95	— 0,07
33,92	39,38	36,46	2,92		
34,41	40,48	37,46	3,02	3,16	— 0,14

Chlorure de potassium (suite).

Solution contenant 11,68 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0,00368\,\Phi + 0,0000088\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
6,00	7,00	6,73	0,27	0,30	— 0,03
6,38	7,18	6,89	0,29		
6,68	7,33	7,03	0,30		
6,89	7,43	7,12	0,31	0,33	— 0,02
7,27	7,63	7,30	0,33		
7,82	7,91	7,58	0,33		
8,21	8,13	7,82	0,31	0,36	— 0,05
8,59	8,34	8,00	0,34		
8,98	8,56	8,23	0,33		
9,27	8,73	8,36	0,37	0,38	— 0,01
9,65	8,95	8,59	0,36		
10,33	9,37	9,02	0,35		
10,41	9,42	9,01	0,41	0,41	»
11,17	9,50	9,51	0,39		
11,62	10,20	9,98	0,38		
12,16	10,57	10,12	0,45	0,47	— 0,02
12,60	10,88	10,46	0,42		
13,14	11,26	11,19	0,47		
13,83	11,78	11,36	0,42	0,51	+ 0,03
14,21	12,07	11,54	0,53		
14,72	12,47	11,96	0,51		
15,20	12,86	12,32	0,54	0,57	— 0,03
15,73	13,31	12,75	0,56		
16,26	13,74	13,21	0,53		
16,94	14,37	13,83	0,54	0,63	— 0,09
17,63	15,00	14,35	0,65		
18,16	15,51	14,89	0,62		
19,92	17,31	16,64	0,67	0,78	— 0,11
19,96	17,34	16,65	0,69		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
20,59	18,04	17,26	0,78		
21,35	18,89	18,10	0,79	0,85	— 0,06
22,49	20,25	19,44	0,81		
23,10	21,02	20,10	0,92		
23,56	21,62	20,69	0,93	0,98	— 0,05
23,71	21,80	20,89	0,91		
24,47	22,82	21,90	0,92		
25,38	24,08	23,11	0,97	1,09	— 0,13
25,52	24,29	23,24	1,05		
27,48	27,26	26,05	1,21		
28,88	29,58	28,23	1,25	1,36	— 0,11
29,71	31,03	29,75	1,28		
30,80	33,03	31,70	1,33		
31,76	34,88	33,48	1,40	1,65	— 0,15
32,28	35,92	34,51	1,41		
34,42	40,49	38,86	1,63		

Chlorure de potassium (suite).

Solution contenant 6,25 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00368\,\Phi + 0{,}0000086\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
7,11	7,55	7,37	0,18	0,17	+ 0,01
7,42	7,71	7,55	0,16		
7,83	7,92	7,75	0,17		
8,18	8,11	7,90	0,21	0,19	+ 0,02
9,10	8,63	8,40	0,23		
9,92	9,12	8,92	0,20		
10,71	9,61	9,41	0,20	0,23	+ 0,03
10,99	9,79	9,60	0,19		
11,68	10,23	10,04	0,19		
12,81	11,01	10,73	0,28	0,26	+ 0,02
13,30	11,38	11,09	0,29		
14,51	12,31	12,06	0,25		
15,66	13,25	12,90	0,35	0,31	+ 0,04
16,29	13,79	13,48	0,31		
17,41	14,80	14,48	0,32		
18,59	15,92	15,49	0,43	0,38	+ 0,05
20,33	17,68	17,24	0,44		
21,30	18,84	18,36	0,48		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
22,43	20,18	19,71	0,47	0,48	— 0,01
23,69	21,78	21,26	0,52		
24,85	23,34	22,77	0,57		
25,83	24,74	24,13	0,61	0,60	+ 0,01
26,62	25,92	25,30	0,62		
27,15	26,74	26,10	0,64		
28,68	29,24	28,54	0,70	0,72	— 0,02
29,13	30,01	29,30	0,71		
29,57	30,78	30,03	0,75		
29,99	31,52	30,79	0,73	0,77	— 0,04
30,33	32,25	31,51	0,74		
30,69	32,82	30,06	0,76		
31,01	33,42	32,64	0,78	0,82	— 0,04
31,41	34,19	33,40	0,79		
31,84	35,04	34,23	0,81		
32,23	35,82	34,99	0,83	0,89	— 0,06
33,58	38,64	37,76	0,88		
34,86	41,51	40,60	0,91		
35,21	42,27	41,34	0,93	1,06	— 0,13

V.

Azotate de potasse (suite).

Solution contenant 14,19 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00165\,\Phi + 0{,}0000398\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
8,07	8,07	7,83	0,24	0,22	+ 0,02
8,65	8,37	8,14	0,23		
9,33	8,76	8,56	0,20		
9,67	8,96	8,70	0,26	0,25	+ 0,01
9,96	9,14	8,88	0,26		
10,21	9,29	9,06	0,23		
10,53	9,49	9,25	0,24	0,27	— 0,03
10,88	9,71	9,44	0,27		
11,31	9,99	9,74	0,25		
11,76	10,29	10,01	0,28	0,30	— 0,02
12,05	10,49	10,20	0,29		
12,41	10,74	10,46	0,28		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
12,83	11,04	10,73	0,31	0,33	+ 0,02
13,17	11,28	10,94	0,34		
13,65	11,64	11,34	0,30		
13,98	11,89	11,51	0,38	0,36	+ 0,02
14,29	12,13	11,76	0,37		
14,77	12,51	12,12	0,39		
15,11	12,79	12,36	0,43	0,39	+ 0,04
15,42	13,04	12,59	0,45		
15,93	13,47	13,08	0,39		
16,25	13,75	13,29	0,46	0,42	+ 0,04
16,73	14,18	13,75	0,43		
17,09	14,50	14,06	0,44		
17,51	14,89	14,43	0,46	0,47	— 0,01
17,85	15,21	14,76	0,45		
18,64	15,98	15,51	0,47		
18,66	16,00	15,49	0,51	0,50	+ 0,01
19,31	16,66	16,12	0,54		
19,84	17,22	16,64	0,58		
20,52	17,95	17,33	0,62	0,60	+ 0,02
21,01	18,50	17,99	0,61		
21,41	18,96	18,33	0,63		
21,74	19,35	18,70	0,65	0,66	+ 0,01
21,97	19,62	18,92	0,66		
22,30	20,02	19,33	0,69		
22,66	20,45	19,72	0,73	0,71	+ 0,02
23,03	20,92	20,20	0,72		
23,37	21,36	20,62	0,74		
23,68	21,76	21,04	0,72	0,77	— 0,07
23,98	22,15	21,39	0,76		
24,20	22,45	21,66	0,79		
24,80	23,27	22,41	0,86	0,84	+ 0,02
25,21	23,85	22,97	0,88		
25,72	24,58	23,66	0,92		
26,14	25,21	24,25	0,96	0,95	+ 0,01
26,85	26,27	25,28	0,99		
27,28	26,94	25,89	1,05		
27,83	27,72	26,61	1,11	1,08	+ 0,03
28,21	28,41	27,26	1,15		
28,66	29,22	28,03	1,19		
29,31	30,28	29,04	1,24	1,22	+ 0,02
29,99	31,52	30,26	1,26		
30,83	32,94	31,63	1,31		
31,41	34,19	32,81	1,38	1,46	- 0,04
32,63	34,62	33,19	1,43		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
33,01	37,43	36,91	1,52		
34,85	41,48	39,72	1,76	1,94	— 0,18
35,00	41,83	40,00	1,83		

Azotate de potasse (suite).

Solution contenant 9,71 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00152\Phi + 0{,}0000314\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
9,31	8,75	8,62	0,13	0,15	— 0,02
9,45	8,83	8,69	0,14		
10,21	9,29	9,14	0,15		
10,72	9,61	9,45	0,16	0,17	— 0,01
10,76	9,63	9,48	0,15		
11,64	10,21	10,04	0,17		
11,96	10,42	10,22	0,20	0,19	— 0,01
12,31	10,67	10,49	0,18		
12,67	10,92	10,75	0,17		
13,01	11,07	10,89	0,18	0,20	— 0,02
13,55	11,57	11,37	0,20		
14,11	11,99	11,78	0,21		
14,73	12,48	12,23	0,25	0,23	+ 0,02
15,18	12,85	12,63	0,22		
15,67	13,25	13,02	0,23		
15,99	13,62	13,34	0,28	0,26	+ 0,02
16,66	14,11	13,84	0,27		
17,15	14,55	14,30	0,25		
17,83	15,19	14,93	0,26	0,29	+ 0,03
18,21	15,56	15,24	0,32		
18,75	16,09	15,80	0,29		
19,31	16,70	16,39	0,31	0,33	— 0,02
19,52	16,88	16,58	0,30		
19,94	17,32	16,99	0,33		
20,32	17,74	17,36	0,38	0,36	+ 0,02
21,08	18,47	18,08	0,39		
21,86	19,50	19,10	0,40		
22,27	20,18	19,79	0,39	0,41	+ 0,02
22,85	20,70	20,28	0,42		
23,28	21,24	20,83	0,41		
23,97	22,14	21,70	0,44	0,47	— 0,03

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
24,59	22,98	22,52	0,46		
25,18	23,80	23,41	0,49		
25,91	24,84	24,32	0,52	0,54	— 0,03
26,62	25,92	25,37	0,55		
27,15	26,74	26,15	0,59		
28,03	28,15	27,52	0,63	0,66	— 0,03
28,92	29,64	28,99	0,65		
29,53	30,70	30,01	0,69		
30,31	32,21	31,47	0,74	0,79	— 0,05
31,11	33,61	32,82	0,79		
31,96	35,27	34,46	0,81		
32,67	36,72	35,84	0,88	0,95	— 0,07
33,41	38,28	37,32	0,96		
34,28	40,19	39,20	0,99		
35,01	41,89	40,82	1,07	1,15	— 0,08

Azotate de potasse (suite).

Solution contenant 4,83 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00148\,\Phi + 0{,}0000275\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
8,11	8,08	8,05	0,03	0,06	— 0,03
8,17	8,10	8,06	0,04		
8,61	8,35	8,30	0,05		
9,90	8,52	8,47	0,05		
9,20	8,69	8,66	0,03	0,07	— 0,04
9,44	8,83	8,81	0,02		
9,69	8,98	8,89	0,09		
9,88	9,08	9,00	0,08	0,07	+ 0,01
10,14	9,18	9,09	0,09		
10,26	9,32	9,23	0,09		
10,69	9,59	9,52	0,07	0,08	— 0,01
11,11	8,86	9,78	0,08		
11,92	10,40	10,30	0,10		
12,31	10,67	10,57	0,10	0,09	+ 0,02
12,64	10,90	10,80	0,10		
13,11	11,24	11,13	0,09		
13,45	11,49	11,38	0,11	0,09	+ 0,02
14,06	11,94	11,83	0,11		
14,42	12,24	12,12	0,12		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
14,87	12,59	12,49	0,10	0,11	— 0,01
15,44	13,06	12,95	0,09		
15,63	13,23	13,15	0,08	0,11	— 0,03
16,01	13,64	13,51	0,13		
16,45	13,90	13,76	0,14		
17,14	14,55	14,41	0,14	0,13	+ 0,01
18,11	15,56	15,43	0,13		
18,56	15,90	15,77	0,13		
19,12	16,47	16,30	0,17	0,15	+ 0,02
19,72	17,09	16,93	0,16		
20,56	18,00	17,84	0,16		
21,31	18,85	18,69	0,16	0,17	— 0,01
22,09	19,77	19,56	0,21		
25,03	20,92	20,75	0,17		
24,00	22,18	22,01	0,17	0,22	— 0,05
24,71	23,15	22,90	0,25		
25,05	23,62	23,36	0,26		
27,45	27,22	26,94	0,28	0,29	— 0,01
28,41	28,78	28,43	0,35		
29,84	31,26	30,91	0,35		
33,68	33,68	31,51	0,37	0,38	— 0,01
36,93	36,93	36,41	0,52		
39,77	39,77	39,34	0,43	0,48	— 0,05

VI.

Sulfate de soude à 10 équivalents d'eau.

Solution contenant 30,28 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}0029\,\Phi + 0{,}0000021\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
14,31	12,15	11,05	1,10	1,08	+ 0,02
14,83	12,56	11,44	1,12		
14,99	12,69	11,55	1,14		
15,32	12,96	11,77	1,19	1,16	+ 0,03
15,73	13,31	12,08	1,23		
14,10	11,99	10,95	1,04		
14,43	12,24	11,16	1,08	1,09	— 0,01
14,85	12,58	11,45	1,13		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
15,20	12,86	11,69	1,17		
15,47	13,08	11,88	1,20	1,17	+ 0,03
15,76	13,40	12,17	1,23		
15,99	13,63	12,38	1,25		
16,40	13,89	12,61	1,28	1,24	+ 0,04
16,68	14,13	12,84	1,29		
17,00	14,42	13,11	1,31		
17,44	14,83	13,50	1,33	1,32	+ 0,01
17,83	15,19	13,86	1,33		
18,12	15,57	14,20	1,37	1,39	— 0,02
18,67	16,02	14,63	1,39		
19,00	16,35	14,89	1,46		
19,41	16,77	15,28	1,49	1,51	— 0,02
19,92	17,30	15,76	1,54		
20,35	17,73	16,15	1,58		
20,89	18,37	16,72	1,65	1,64	+ 0,01
21,51	19,08	17,37	1,71		
22,01	19,68	17,91	1,77		
22,65	20,45	18,58	1,87	1,84	+ 0,03
23,12	21,03	19,12	1,91		
23,78	21,89	19,93	1,96		
24,15	22,38	20,38	2,00	2,01	— 0,01
24,66	23,19	21,10	2,09		
25,02	23,58	21,46	2,12		
25,31	23,99	21,82	2,17	2,16	+ 0,01
25,64	24,45	22,25	2,20		
25,88	24,81	22,59	2,22		
25,99	24,97	22,74	2,23	2,25	— 0,02
26,28	25,41	23,14	2,27		
26,63	25,94	23,63	2,31		
27,88	26,32	23,98	2,34	2,37	— 0,03
28,35	28,68	26,26	2,42		
28,59	29,08	26,63	2,45		
28,96	29,70	27,16	2,54	2,69	— 0,15
29,42	30,51	27,96	2,65		
29,79	31,17	28,41	2,76		
30,17	31,86	29,03	2,83	2,89	— 0,05
30,65	32,74	29,86	2,88		
31,11	33,62	30,68	2,94		
31,42	34,21	31,15	3,06	3,10	— 0,04
31,94	35,08	31,93	3,15		
32,26	35,88	32,65	3,23		
33,58	38,64	35,19	3,45	3,52	— 0,07
33,76	39,04	35,56	3,48		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
34,03	39,50	35,98	3,52		
34,28	40,19	36,66	3,53	3,66	— 0,13
34,47	40,61	37,05	3,56		
34,68	41,09	37,49	3,60		
34,83	41,30	37,67	3,63	3,75	— 0,12
35,26	42,43	38,70	3,73		
35,73	43,62	39,78	3,84		
36,48	46,03	43,06	3,97	4,21	— 0,24
37,29	47,45	43,30	4,15		
38,01	49,57	45,13	4,44		

Sulfate de soude (suite).

Solution contenant 19,81 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0,00295\Phi + 0,0000024\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
9,81	9,05	8,47	0,58	0,62	— 0,04
10,43	9,43	8,83	0,60		
10,79	9,66	9,01	0,65		
11,30	9,99	9,29	0,70	0,69	+ 0,01
11,84	10,35	9,64	0,71		
12,27	10,65	9,91	0,74		
12,68	10,93	10,15	0,78	0,75	+ 0,03
13,00	11,06	10,26	0,80		
13,50	11,53	10,72	0,81		
13,91	11,84	10,97	0,87	0,82	+ 0,05
14,49	12,29	11,42	0,87		
14,91	12,63	11,78	0,85		
15,22	12,88	12,00	0,88	0,89	— 0,01
15,77	13,35	12,45	0,90		
16,31	13,81	12,88	0,93		
16,86	14,30	13,35	0,95	0,99	— 0,04
17,65	15,01	14,02	0,99		
17,99	15,26	14,23	1,03		
18,63	15,98	14,90	1,08	1,11	—0,03
19,11	16,46	15,34	1,12		
19,63	17,00	15,85	1,15		
20,25	17,66	16,47	1,19	1,22	— 0,03
20,62	18,07	16,86	1,21		
21,38	18,93	17,65	1,27		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
22,54	19,11	17,79	1,32	1,34	+ 0,02
22,01	19,67	18,31	1,36		
22,40	20,14	18,73	1,43		
24,10	22,32	20,72	1,60	1,55	+ 0,05
24,88	23,38	21,75	1,63		
25,51	24,28	22,59	1,69		
26,09	25,12	23,39	1,73	1,75	— 0,02
27,03	26,55	24,72	1,83	1,9	
27,48	27,26	25,36	1,90		
28,20	28,43	26,47	1,96	1,98	— 0,02
28,67	29,22	27,17	2,05		
29,31	30,32	28,19	2,13		
29,96	31,47	29,28	2,19	2,20	— 0,01
30,26	32,12	29,84	2,28		
30,42	32,29	30,00	2,29		
31,18	33,76	31,43	2,33	2,37	— 0,04
31,76	34,87	32,46	2,41		
32,43	36,22	33,77	2,45		
32,70	36,78	36,29	2,49	2,58	— 0,09
34,28	40,19	37,52	2,67		
34,95	41,71	38,98	2,73		
35,62	41,97	39,21	29,76	2,96	— 0,20

Sulfate de soude (suite).

Solution contenant 9,81 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00298\,\Phi + 0{,}0000026\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,31	7,66	7,45	0,21	0,22	— 0,01
7,82	7,92	7,73	0,19		
7,96	7,99	7,81	0,18		
8,11	8,08	7,85	0,23	0,24	— 0,01
8,43	8,25	8,01	0,24		
8,52	8,30	8,05	0,25		
8,76	8,44	8,17	0,27	0,25	+ 0,02
8,86	8,49	8,24	0,25		
9,11	8,64	8,41	0,23		
9,40	8,81	8,55	0,26	0,26	»
9,67	9,00	8,73	0,27		
10,21	9,29	9,04	0,25		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
10,82	9,68	9,36	0,32	0,28	+ 0,04
11,38	10,04	9,71	0,33		
11,80	10,32	9,97	5,35		
12,29	10,66	10,32	0,34		
12,73	10,97	10,61	0,36	0,32	+ 0,04
13,31	11,39	11,02	0,37		
13,89	11,82	11,47	0,35		
14,18	12,05	11,67	0,38	0,35	+ 0,03
14,67	12,43	12,04	0,39		
15,01	12,71	12,36	0,35		
15,36	13,00	12,59	0,41	0,38	+ 0,03
15,65	13,24	12,84	0,40		
16,10	13,62	13,20	0,42		
16,43	13,91	13,49	0,42	0,39	+ 0,03
16,76	14,24	15,83	0,41		
17,19	14,59	14,16	0,43		
17,54	14,92	14,50	0,42	0,44	— 0,02
17,99	15,35	14,91	0,44		
18,33	15,62	15,16	0,46		
19,79	17,17	16,68	0,49	0,51	+ 0,02
20,41	17,83	17,33	0,50		
20,87	18,35	17,82	0,53		
21,38	18,93	18,35	0,58	0,56	+ 0,02
22,64	20,44	19,82	0,62		
23,45	21,46	20,81	0,65		
24,70	23,14	22,46	0,68	0,69	— 0,01
25,97	24,94	24,24	0,70		
27,40	27,14	26,41	0,73		
28,60	29,10	28,31	0,79	0,87	— 0,09
29,66	30,94	30,10	0,84		
30,42	32,31	31,45	0,86		
32,28	35,92	35,00	0,92	1,08	— 0,16
32,54	36,45	35,47	0,98		
33,62	36,61	35,58	1,03		
35,10	41,85	40,74	1,11	1,25	— 0,14

Nota. — Nous avons fait encore deux séries d'expériences pour vérifier si l'anomalie que présente vers 33° la solubilité du sulfate de soude ne se retrouve pas dans la loi de tension de vapeur de ses solutions. Nous n'avons rencontré aucune perturbation dans la marche du phénomène. Les solutions très concentrées dont nous faisions usage cristallisaient en pénétrant dans les baromètres et abandonnaient une traînée de sel sur les parois de verre.

Il était donc impossible de connaître le titre de la solution employée. C'est pour cela que nous n'avons pas cru utile de reproduire les nombres relatifs à ces deux séries.

VII.

Sulfate de potasse.

Solution contenant 10,11 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00119\,\Phi + 0{,}000005\,\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
15,21	12,87	12,74	0,13	0,16	— 0,03
15,63	13,22	13,07	0,13		
16,17	13,68	13,54	0,14		
16,32	13,82	13,66	0,16	0,18	— 0,02
16,84	14,28	14,13	0,15		
17,11	14,52	14,35	0,17		
17,31	14,71	14,65	0,16	0,19	— 0,03
17,66	15,03	14,85	0,18		
17,94	15,32	15,10	0,22		
18,40	15,75	15,56	0,19	0,20	— 0,01
18,71	16,06	15,87	0,19		
19,10	16,45	16,25	0,20		
19,53	16,89	16,64	0,25	0,22	+ 0,03
19,86	17,24	17,00	0,24		
20,42	17,84	17,61	0,23		
20,44	17,87	17,62	0,25	0,23	+ 0,02
21,00	18,50	18,28	0,22		
21,31	18,85	18,62	0,23		
21,62	19,20	18,97	0,23	0,25	— 0,02
22,08	19,69	19,45	0,24		
22,45	20,20	19,94	0,26		
22,90	20,76	20,50	0,26	0,27	— 0,01
23,41	21,41	21,16	0,25		
23,81	21,93	21,66	0,27		
24,50	22,86	22,53	0,33	0,30	+ 0,03
25,00	23,55	23,21	0,34		
25,39	24,10	23,82	0,28		
25,92	24,87	24,57	0,30	0,33	+ 0,03
26,35	25,51	25,19	0,32		
27,01	26,52	26,17	0,35		
27,49	27,28	26,88	0,40	0,38	+ 0,02
27,96	28,04	27,63	0,41		
28,43	28,71	28,29	0,42		
28,87	29,56	29,12	0,44	0,40	+ 0,04

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
29,63	30,89	30,45	0,44		
30,41	32,29	31,87	0,42		
31,17	33,73	33,25	0,48	0,46	+ 0,02
31,91	35,18	34,69	0,49		
32,28	35,92	35,43	0,49		
33,40	38,26	37,76	0,50	0,53	— 0,03
34,10	39,79	39,27	0,52		
34,85	41,48	40,94	0,54		
35,20	41,87	41,34	0,53	0,59	— 0,06

Sulfate de potasse (suite).

Solution contenant 7,22 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}00112\Phi + 0{,}000004\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
o	mm	mm	mm	mm	mm
7,22	7,61	7,58	0,03	0,06	— 0,03
7,45	7,72	7,66	0,06		
7,96	7,99	7,93	0,06		
8,41	8,24	8,19	0,05	0,07	— 0,02
8,83	8,48	8,42	0,06		
9,31	8,75	8,69	0,06		
9,71	8,99	8,91	0,08	0,07	+ 0,01
10,31	9,36	9,29	0,07		
10,62	9,56	9,50	0,06		
11,10	9,86	9,79	0,07	0,08	— 0,01
11,67	10,23	10,15	0,08		
12,00	10,46	10,40	0,06		
12,48	10,79	10,73	0,06	0,08	— 0,02
12,97	11,04	11,01	0,03		
13,41	11,46	11,39	0,07		
13,77	11,73	11,62	0,11	0,09	+ 0,03
14,13	12,15	12,05	0,10		
14,87	12,60	12,51	0,09		
15,28	12,93	12,85	0,08	0,11	— 0,03
15,76	13,33	13,24	0,09		
16,28	13,78	13,68	0,10		
16,64	14,10	14,00	0,10	0,12	— 0,02
17,20	14,61	14,51	0,10		
17,82	15,18	15,09	0,09		
18,31	15,66	15,55	0,11	0,13	— 0,02

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
18,94	16,29	16,18	0,11		
18,28	15,63	15,11	0,12		
19,67	17,04	16,90	0,14	0,15	— 0,01
20,00	17,39	17,26	0,13		
20,85	18,32	18,19	0,13		
21,32	18,85	18,71	0,14	0,16	— 0,02
21,71	19,32	19,17	0,15		
22,43	20,18	20,01	0,17		
22,95	20,82	20,62	0,20	0,18	+ 0,02
23,30	21,27	21,05	0,21		
23,81	21,93	21,72	0,21		
24,62	23,02	22,80	0,22	0,20	+ 0,02
24,99	23,54	23,34	0,20		
25,50	24,26	24,07	0,19		
26,10	25,14	24,93	0,21	0,22	— 0,01
26,62	25,86	25,64	0,22		
27,31	26,99	26,70	0,20		
27,75	27,70	27,47	0,23	0,25	— 0,02
28,20	28,43	28,20	0,23		
28,61	29,12	28,87	0,25		
29,30	30,30	30,06	0,24	0,27	— 0,03
29,76	31,12	30,86	0,26		
30,31	32,26	31,98	0,28		
31,10	33,60	33,31	0,29	0,31	— 0,02
31,92	35,20	34,91	0,29		
32,68	36,72	36,40	0,32		
33,51	38,47	38,34	0,33	0,36	— 0,03
34,45	40,57	40,23	0,34		
35,30	42,51	42,15	0,36		

Sulfate de potasse (suite).

Solution contenant 3,28 parties de sel pour 100 parties d'eau.

$$d = 0{,}0011\Phi + 0{,}000004\Phi^2.$$

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε.
°	mm	mm	mm	mm	mm
7,28	7,64	7,59	0,05	0,03	+ 0,02
7,73	7,87	7,83	0,04		
8,43	8,25	8,21	0,04		
9,10	8,63	8,59	0,05	0,03	+ 0,02
9,58	8,91	8,86	0,04		

t.	Φ.	φ.	D.	D_1.	ε
°	mm	mm	mm	mm	mm
10,11	9,23	9,20	0,03		
10,84	9,69	9,63	0,03	0,04	— 0,01
11,29	9,98	9,94	0,04		
11,90	10,39	10,38	0,01		
12,35	10,70	10,63	0,07	0,04	+ 0,03
12,76	10,92	10,87	0,05		
13,42	11,47	11,45	0,02		
14,36	12,19	12,16	0,03	0,04	— 0,01
14,78	12,52	12,49	0,03		
15,43	13,05	13,01	0,04		
15,96	13,60	13,54	0,06	0,05	+ 0,01
16,28	13,78	13,72	0,06		
17,66	14,11	14,03	0,08		
18,15	15,50	14,44	0,06	0,06	»
18,65	16,00	15,95	0,05		
19,40	16,76	16,69	0,07		
20,31	17,73	17,64	0,09	0,07	+ 0,02
21,10	18,61	18,53	0,08		
21,96	19,61	19,53	0,08		
22,68	20,49	20,40	0,09	0,08	+ 0,01
23,50	21,53	21,43	0,10		
24,31	22,60	22,52	0,08		
25,20	23,83	23,74	0,09	0,09	»
26,00	24,99	24,92	0,07		
26,81	26,21	26,14	0,07		
27,65	27,54	27,46	0,08	0,11	— 0,03
28,40	28,77	28,68	0,09		
29,19	30,11	30,02	0,09		
29,98	31,53	31,43	0,10	0,12	— 0,02
30,83	33,08	31,98	0,10		
31,75	34,85	34,74	0,11		
32,59	36,56	36,44	0,12	0,16	— 0,04
33,48	38,43	38,29	0,14		
34,27	40,17	40,02	0,15	0,20	— 0,05

Nota. — Les nombres qui figurent dans la troisième colonne ont été obtenus de la manière suivante : on a porté suivant deux axes rectangulaires des grandeurs proportionnelles aux températures et aux tensions fournies directement par l'expérience ; puis, après avoir rejeté les observations évidemment entachées d'erreurs de lecture, on a corrigé les nombres de l'expérience en prenant pour tension correspondant à chaque température la valeur de l'ordonnée de la courbe moyenne.

Ces courbes étaient généralement construites à l'échelle de 10 pour 1.

QUATRIÈME PARTIE.

I.

Discussion et comparaison des résultats.

On reconnaît que, contrairement à l'opinion généralement admise, la valeur de d varie continûment avec la concentration. Tantôt elle augmente avec la quantité de sel dissoute : c'est le cas des chlorures de potassium et de sodium, de l'azotate et du sulfate de potasse. Tantôt, au contraire, elle diminue : c'est le cas du nitrate et du sulfate de soude. Enfin, c'est aux environs du point de saturation que la variation est le plus accusée.

Pour trouver la formule relative à une dissolution déterminée à l'aide de nos Tables, voici la règle que nous indiquons :

Soient α et β les constantes relatives à une solution contenant un poids ϖ de sel (1), a et b, a' et b' les coefficients de deux solutions consécutives contenant des poids $P < \varpi$ et $P' > \varpi$ d'un même sel, inscrites dans nos Tables.

Si l'on pose

$$P = \varpi - p,$$

on aura, avec une approximation suffisante, les valeurs de α et β en résolvant les équations

$$\alpha = a + (a' - a)\frac{p}{P' - P},$$

$$\beta = b + (b' - b)\frac{p}{P' - P}.$$

Cette règle empirique doit être tempérée par les restrictions sui-

(1) Nous rapportons toujours le poids de sel à la quantité invariable de 100 parties d'eau.

vantes : la solution d'azotate de soude ne devra pas contenir plus de 55 parties de sel pour 100 parties d'eau; la solution de chlorure de sodium, plus de 25 parties de sel; celle d'azotate de potasse, 12 parties au plus seulement; celle de chlorure de potassium, 22 parties; enfin les solutions de sulfate de potasse et de sulfate de soude, 7 et 18 parties.

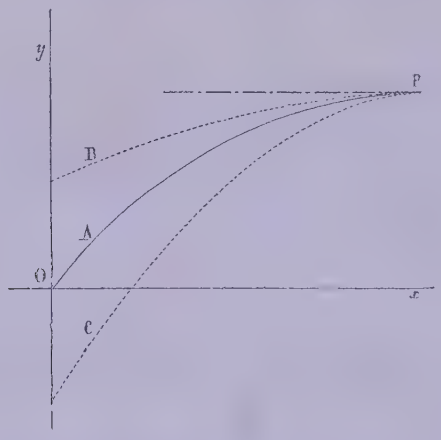
Nous avons trouvé dans les expériences de M. Person une justification indirecte de cette variation, en apparence paradoxale, de la valeur de d avec le degré de concentration.

Voici cette vérification.

Reprenons la formule de M. Kirchhoff, préparée pour être traduite en nombres et relative à la dilution :

$$Q_1 = -100\,L\,b\Phi \log \frac{x - 100(a + b\Phi)}{x_0 - 100(a + b\Phi)}.$$

Supposons un sel dans lequel les deux coefficients a et b ne varient pas avec le degré de concentration, et construisons la courbe suivante :



Sur l'axe Ox portons des longueurs proportionnelles au nombre de parties d'eau dans lesquelles on dissout successivement un même poids 1 de sel, et par les points de division élevons des ordonnées proportionnelles aux quantités de chaleur Q correspondantes.

Quand la solution est très diluée, nous savons que, pour un sel quelconque, l'addition de liquide ne produit plus de variation thermique.

La courbe A que nous venons de construire partira donc de l'origine

en prenant sensiblement la forme d'une logarithmique et à une certaine distance, au point P par exemple, se confondra avec une parallèle à l'axe des x.

Examinons maintenant un autre sel, tel que le chlorure de sodium, pour lequel les coefficients a et b décroissent quand la concentration augmente, et construisons la courbe représentative des variations thermiques dues à sa dilution. En déplaçant l'axe des x parallèlement à lui-même d'une quantité convenable, on amènera cette courbe à passer par le point P et à s'y confondre en ce point avec la courbe A. Mais au delà, comme il est facile de s'en rendre compte par l'inspection de la formule de M. Kirchhoff, les valeurs de Q seront constamment plus grandes que pour la courbe A, et nous obtiendrons le contour PB.

Supposons enfin, comme troisième cas, un sel dans lequel a et b croissent avec le degré de concentration, et répétons la même opération que pour la courbe B. Les valeurs de Q seront constamment plus petites que pour la courbe A, et nous obtiendrons le contour PC.

Si maintenant, à l'aide des données fournies par M. Person, nous construisons des courbes semblables avec le chlorure de sodium et l'azotate de soude, qui représentent précisément les cas considérés, nous trouvons pour le premier une courbe concave vers les x, à peine infléchie, semblable à la ligne PB et presque assimilable à une ligne droite.

L'azotate de soude, au contraire, nous fournit une courbe fortement infléchie et qui a à peu près la forme d'un quadrant elliptique.

Il y a donc au moins, pour la marche générale du phénomène, concordance entre les indications des mesures calorimétriques et des mesures barométriques.

II.

CONCLUSIONS.

I. La mesure de la tension de vapeur des solutions salines à diverses températures et sous divers degrés de concentration a été effectuée avec la précision des méthodes de Regnault. Les causes d'erreur et les incertitudes de lecture ont été éliminées très simplement, et les résultats

obtenus, plusieurs fois contrôlés, même par voie indirecte, permettent de se rendre compte de la loi de ces variations de tension.

II. La diminution de tension, toutes choses égales d'ailleurs, n'est pas rigoureusement proportionnelle à la quantité de sel dissoute. Cette assertion, trop absolue, a été rectifiée par nos expériences.

III. Les résultats nous ont conduit à une règle empirique qui rend possible le calcul de l'abaissement de la force élastique dans les conditions les plus générales.

IV. Dans tous les cas les plus intéressants, les nombres insérés dans cette Thèse permettent d'apporter de précieuses vérifications aux formules de la Thermodynamique, et en particulier à la formule de M. Kirchhoff. Il y avait lieu de comparer ces nombres aux mesures calorimétriques directes. Toutes les fois que cette comparaison a été possible, grâce aux travaux de M. Person, elle a donné des résultats satisfaisants, tandis que M. Kirchhoff a rencontré un véritable désarroi en se servant des formules de M. Wüllner.

Vu et approuvé :

Besançon, le 16 octobre 1879.

Le Doyen, Président,

A. VÉZIAN.

Permis d'imprimer :

Besançon, le 21 octobre 1879.

Le Recteur de l'Académie, Correspondant de l'Institut,

J. LISSAJOUS.

SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Chimie : De la dissociation.

Minéralogie · Des combustibles minéraux.

Vu et approuvé :

Besançon, le 16 octobre 1879.

Le Doyen, Président,

A. VÉZIAN.

Permis d'imprimer :

Besançon, le 21 octobre 1879.

Le Recteur de l'Académie, Correspondant de l'Institut,

J. LISSAJOUS.

5728 Paris. — Imprimerie de Gauthier-Villars, quai des Augustins, 55.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
8728 Quai des Augustins, 55.